

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ
ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЧНОСТИ
Материалы международной научной конференции
(Витебск, 25-29 мая 2020 года)

*Посвящается академику УССР Давиденкову Н.Н. –
известному ученому в области физики прочности и пластичности
материалов*

Молодечно
Типография «Победа»
2020

КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ И МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

Марков М.А.

НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей»,
Санкт-Петербург, Россия, barca0688@mail.ru

Введение

Существующие технологические подходы изготовления алюмооксидных керамических материалов основаны на прессовании и спекании смеси керамических порошков в монолитное изделие, однако такой процесс, с учетом стоимости исходных материалов, является дорогостоящим. [1,2]. Более рациональным и экономичным подходом выглядит использование защитных керамических покрытий на металлических изделиях.

Цель работы – исследование формирования износостойких и коррозионностойких керамических покрытий на алюминиевых сплавах за счет комплексного использования методов низкотемпературного гетерофазного переноса, микродугового оксидирования, магнетронного распыления, оценка трибологических и антикоррозионных свойств полученных покрытий.

Объект и методика исследований

Для получения покрытий в качестве основы использовали образцы размером 50x20x3 мм, изготовленные из алюминиевых сплавов АМг2, АК7ч, А5 (технически «чистый» алюминий).

Для проведения «холодного» газодинамического напыления (ХГДН) был использован алюминиевый порошок марки А-80-13 с добавлением 40 % масс. порошка корунда (технологическая добавка) марки 25А зернистостью F360.

Порошок измельчали и просеивали с целью выделения необходимой для напыления фракции 10-60 мкм.

Холодное газодинамическое напыление осуществляли на установке «Димет-403» [3-6].

После нанесения покрытия ХГДН и соответствующей механической обработки, проводили микродуговое оксидирование (МДО). При пропускании тока большой плотности через границу раздела металл-электролит создаются условия, когда на поверхности металла возникают микроплазменные разряды с высокими локальными температурами. Результатом действия разрядов в условиях интенсивного теплоотвода в электролит является формирование тонкослойного оксидно-керамического покрытия [7]. МДО осуществляли на установке ИПТ-1000.

В качестве рабочего раствора при МДО использовали электролит силикатно-щелочной, состав: гидроксид калия – 2 г/л; жидкое стекло – 8 г/л, остальное – вода. Продолжительность МДО составляла 1,5 час в анодно-катодном режиме при плотности переменного тока 13-15 А/дм². Магнетронное распыление осуществляли на установке «Магна ТМ5».

Дисперсность порошковых материалов измерялась методом лазерного дифракционного анализа с помощью прибора Malvern Mastersizer 2000.

Морфологию и элементный состав частиц порошков и покрытий исследовали методами сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа на исследовательском комплексе «TESCAN Vega».

Фазовый состав покрытий изучали на рентгеновском дифрактометре «D8 Advance» фирмы Bruker (Германия).

Для оценки износостойкости покрытий использовали машину трения «МТУ-1» по схеме «вращающиеся пальчики из стали 18ХГТ – неподвижный диск с покрытием». Площадь контакта составляла 1,5 см², продолжительность испытаний – 20 часов, нагрузка – 1,5 МПа при частоте вращения 580 мин⁻¹.

Коррозионные испытания образцов с покрытиями на алюминиевых сплавах проводили в водном 5%-ном растворе гидроксида натрия.

Коррозионные испытания образцов с покрытиями на стали проводили в соответствии с ГОСТ 9.308-85 в 5%-ном растворе хлорида натрия (соляной туман).

Результаты исследований

На поверхности алюминиевых образцов порошковым материалом А-80-13 были сформированы алюминиевые покрытия толщиной $h = 200$ мкм. Упрочнение поверхности микродуговым оксидированием в силикатно-щелочном электролите привело к формированию внешнего композиционного керамического слоя, при этом толщина переходного алюминиевого слоя к основе составила $h \approx 70$ мкм. Фазовый состав оксидно-керамического слоя представлен основной тугоплавкой и термически стойкой фазой муллита сложного стехиометрического состава, обладающего некоторой пластичностью, по сравнению с оксидом алюминия, а также незначительным содержанием α -, η - Al_2O_3 и аморфной фазы SiO_2 . Вероятно, поэтому на поверхности образцов образовался рыхлый технологический слой [8].

На рис. 1 показаны результаты износа покрытий и образцов-свидетелей в ходе трибологических испытаний. В табл.1 приведены данные по скорости изнашивания сравниваемых пар трения.

Установлено, что износостойкость упрочненных МДО алюминиевых покрытий, сформированных «холодным» газодинамическим напылением, примерно в 3,1...3,3 раза выше износостойкости не упрочненных покрытий и в 2,2...2,5 раза выше износостойкости алюминиевого сплава АК7ч, принятого за эталон сравнения [9, 10]. Следует отметить, что износостойкость упрочненных МДО алюминиевых покрытий несколько ниже износостойкости оксидно-керамических покрытий, полученных на алюминиевых сплавах.

Таблица 1 – Оценка скорости изнашивания пар трения

Испытываемый материал	Скорость изнашивания пары трения, г/ч
АК7ч+МДО	0,0119
АК7ч	0,0297
АМг2+МДО	0,0089
Покрытие ХГДН	0,0403
Покрытие ХГДН+МДО	0,0141

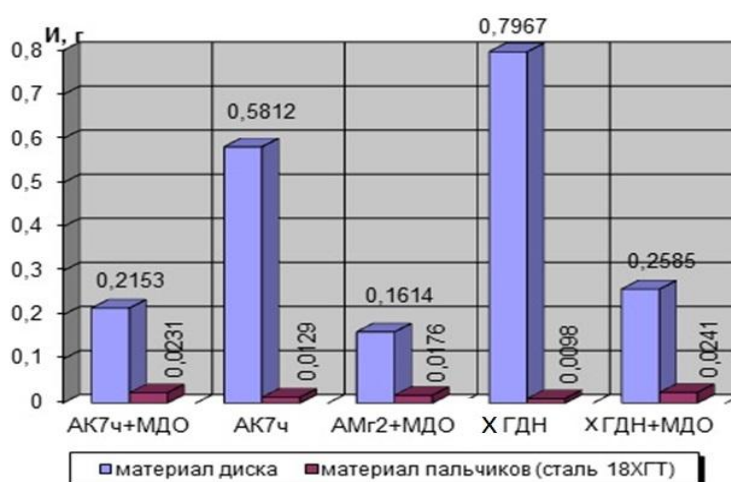


Рисунок 1 – Результаты испытаний пар трения «диск - пальчики»

Далее, на основе анализа работ [11, 12] были рассмотрены технологические аспекты возможности получения тонких фторопластовых пленок на МДО-покрытиях методом магнетронного распыления. В ходе предварительных экспериментов пленки формировали на плоских полированных кремниевых пластинах, с последующим напылением титанового покрытия.

На рисунке 2 приведены результаты коррозионных испытаний «технически чистого» алюминия А5 без покрытия, а так же с композиционными защитными покрытиями. В щелочной среде наблюдается интенсивное растворение алюминия. Наличие МДО-покрытия существенно тормозит развитие коррозии. Можно предположить, что взаимодействие щелочи с алюминием осуществляется через поровые каналы оксидного слоя. Результатом становится медленное вытравливание алюминия и нарушение адгезионной границы ХГДН-МДО, вследствие чего через 3 часа коррозионных испытаний происходит расслоение и разрушение оксидно-керамического покрытия. Наилучшие результаты демонстрирует МДО-покрытие с пленкой фторопласта, который заполняет открытые поры оксидных слоев и уменьшает зону взаимодействия алюминия со щелочью.

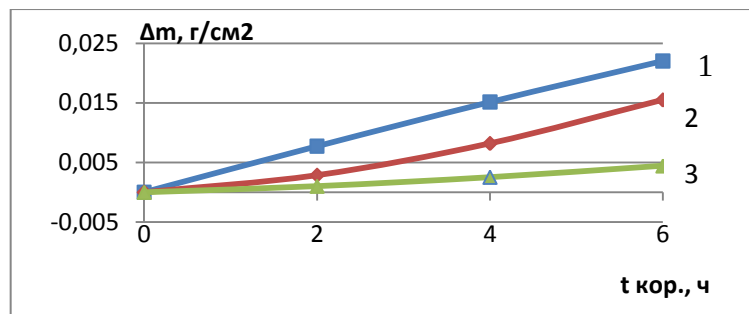


Рисунок 2 – Зависимость потери массы образцов алюминиевого сплава А5 от продолжительности коррозионных испытаний в щелочной среде:
1 – без покрытия; 2 – ХГДН и МДО; 3 – ХГДН, МДО и фторопластовая пленка

Сравнительные коррозионные испытания коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т с МДО-покрытием и без него, рисунок 3, показали, что скорость коррозии образцов с МДО-покрытиями составляет около 170 г/м²*год, а коррозионностойкой стали около 250 г/м²*год.

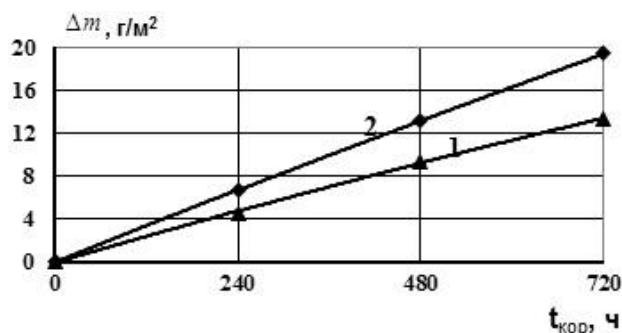


Рисунок 3 – Зависимость потери массы образцов коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т от продолжительности коррозионных испытаний в «соляном тумане»:
1 – ХГДН+МДО; 2 – без покрытия

Выводы

1. Износостойкость упрочненных микродуговым оксидированием алюминиевых покрытий, сформированных «холодным» газодинамическим напылением, примерно в 3,1...3,3 раза выше износостойкости не упрочненных покрытий и в 2,2...2,5 раз выше износостойкости алюминиевых сплавов.
2. Микродуговая обработка алюминиевых покрытий, сформированных «холодным» газодинамическим напылением, приводит к повышению антикоррозионных свойств алюминиевых сплавов в щелочной среде. Дополнительная коррозионная защита обеспечивается формированием пленки фторопласта толщиной $h=1$ мкм методом магнетронного распыления на поверхности оксидно-керамического покрытия. Использование подобных покрытий также увеличивает антикоррозионные свойства коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по направлению «Проведение инициативных исследований молодыми учеными Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными» (проект № 18-73-00025).

ЛИТЕРАТУРА

1. Солнцев Ю.П. Материаловедение / Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Войткун Ф. / М. Изд. МИСИС. – 1999. – 600 с.
2. Гаршин А.П. Керамика для машиностроения / Гаршин А.П., Гропянов В.М., Зайцев Г.П., Семенов С.С. // М.: Научтехлитиздат, 2003. — 384 с.
3. Алхимов А. П. Холодное газодинамическое напыление / Алхимов А. П., Клинков С. В., Косарев В. Ф., Фомин В. М. // Новосибирск: Физматлит, 2010. - 536 с.
4. Аввакумов М. Е. Надежность и качество покрытия при использовании метода «холодного» газодинамического напыления / Аввакумов М. Е., Руфицкий М. В. // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». - 2013. - Т. 2.
5. Алхимов А.П. Метод «холодного» газодинамического напыления / Алхимов А.П., Косарев В.Ф., Папырин А.Н. // ДАН СССР. – 1990. -Т.315. - С. 1062-1065.
6. Геращенко Д. А. Исследование температуры потока в процессе холодного газодинамического напыления функциональных покрытий / Геращенко Д. А., Васильев А. Ф., Фармаковский Б. В., Машек А. Ч. // Вопросы материаловедения. – 2014. – №1(77). – С. 87–97
7. Новиков А.Н. Восстановление и упрочнение деталей из алюминиевых сплавов микродуговым оксидированием / Новиков А.Н., Батищев А.Н., Кузнецов Ю.А., Коломейченко А.В. // Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2001. - 99 с.
8. Кузнецов Ю.А. Особенности механической обработки оксидно-керамических покрытий, полученных плазменно-электролитическим оксидированием / Кузнецов Ю.А., Кравченко И.Н., Гончаренко В.В. Глинский М.А. // Технология металлов. - 2017. - № 10. - С. 18-24.
9. Кузнецов Ю.А. Моделирование изнашивания МДО-покрытий / Кузнецов Ю.А., Гончаренко В.В., Ферябков А.В. // Техника и оборудование для села. - 2015. - №9. - С. 40-44.
10. Кузнецов Ю. А. Исследование адгезионной прочности покрытий, полученных комбинированным способом / Кузнецов Ю. А. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2005. - № 7.— С. 32-33.
11. Dhananjay S. Bodas Deposition of PTFE thin films by RF plasma sputtering on silicon substrates / Dhananjay S. Bodas, A.B. Mandale, S.A. Gangal // Applied Surface Science Volume 245, Issues 1–4. - 30 May 2005. - P. 202-207.
12. Grytsenko K.P., Protective applications of vacuum-deposited perfluoropolymer films / Grytsenko K.P., Kolomzarov Y.V., Belyaev O.E., S. Schrader // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. - 2016. - V. 19, N 2. - P. 139-148.